

Efecto de la fertilización N, P y K en la producción de biomasa aérea de esquejes de *Festuca dolichophylla* (Presl, 1830) y *Festuca humilior* (Nees & Meyen, 1841)

Effect of N, P and K fertilization in the production of aerial biomass of cuttings of *Festuca dolichophylla* (Presl, 1830) and *Festuca humilior* (Nees & Meyen, 1841)

Fritz Carlos Trillo Zárate^{1,3}, Cecilio Barrantes Campos¹, Jimny Nuñez Delgado¹,
Nathalie Zirena Arana², Enrique Flores Mariazza¹

RESUMEN

El objetivo del estudio fue comparar el efecto de la fertilización de N, P y K en la producción de biomasa aérea de dos gramíneas nativas *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*. El experimento se realizó en la SAIS Túpac Amaru, Junín, Perú, a 4186 msnm. Los tratamientos fueron N, P, K, NPK y un control. Las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio fueron de 36.24, 4.27 y 29.92 kg/ha, respectivamente. Se utilizó el modelo de bloques con arreglo de contrastes ortogonales. Las variables fueron: biomasa aérea fresca (kg/ha), biomasa aérea seca (kg/ha) y porcentaje de materia seca. La biomasa aérea fresca fue 783.9 ± 110.7 y 662.9 ± 24.9 kg/ha, biomasa aérea seca fue 477.6 ± 62.9 y 410.2 ± 15.4 kg/ha, y porcentaje de materia seca fue 64.11 ± 1.82 y $61.47 \pm 0.56\%$ en *F. dolichophylla* y *F. humilior*, respectivamente, siendo *F. dolichophylla* la especie de mayor producción de biomasa aérea ($p < 0.05$). La biomasa aérea fresca fue 828.6 ± 54.8 y 604.9 ± 61.9 kg/ha, y la biomasa aérea seca fue 502.7 ± 32.7 y 373.7 ± 37.4 kg/ha en las parcelas con y sin fertilización de *F. dolichophylla*, respectivamente ($p < 0.05$), mientras que para

¹ Laboratorio de Ecología y Evaluación de Pastizales, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

² Departamento Académico de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

³ E-mail: frillo@lamolina.edu.pe

Recibido: 24 de agosto de 2019

Aceptado para publicación: 8 de mayo de 2020

Publicado: 22 de junio de 2020

el porcentaje de materia seca no se evidenciaron diferencias. *F. dolichophylla* evidenció un estímulo a la fertilización de N, P y K, mejorando la producción de biomasa ante la disponibilidad inmediata de algún macronutriente. El porcentaje de materia seca en *F. dolichophylla* y *F. humilior* no evidenció una mayor retención de nutrientes en la mata. El elemento limitante no pudo ser identificado para estas especies., probablemente debido a respuestas compensatorias al déficit nutricional.

Palabras clave: elemento limitante, contrastes ortogonales, gramíneas nativas, materia seca

ABSTRACT

The aim of this study was to compare the effect of N, P and K fertilization on the production of aerial biomass of two native grasses *Festuca dolichophylla* and *Festuca humilior*. The experiment was carried out in the SAIS Túpac Amaru, Junín, Peru, at an altitude of 4186 m. The treatments were N, P, K, NPK and a control. The nitrogen, phosphorus and potassium doses were 36.24, 4.27 and 29.92 kg/ha, respectively. The model of blocks with orthogonal contrasts was used. The variables were: fresh aerial biomass (kg/ha), dry aerial biomass (kg/ha) and percentage of dry matter. Fresh aerial biomass was 783.9 ± 110.7 and 662.9 ± 24.9 kg/ha, dry aerial biomass was 477.6 ± 62.9 and 410.2 ± 15.4 kg/ha, and percentage of dry matter was 64.11 ± 1.82 and $61.47 \pm 0.56\%$ in *F. dolichophylla* and *F. humilior*, respectively, with *F. dolichophylla* being the species with the highest production of aerial biomass ($p < 0.05$). Fresh aerial biomass was 828.6 ± 54.8 and 604.9 ± 61.9 kg/ha, and dry area biomass was 502.7 ± 32.7 and 373.7 ± 37.4 kg/ha in the plots with and without fertilization of *F. dolichophylla*, respectively ($p < 0.05$), and without significant differences for the percentage of dry matter. *F. dolichophylla* showed a stimulus to the fertilization of N, P and K, improving biomass production due to the immediate availability of some macronutrient. The percentage of dry matter in *F. dolichophylla* and *F. humilior* did not show a higher nutrient retention in the shrub. The limiting element could not be identified for these species, probably due to compensatory responses to nutritional deficit.

Key words: limiting element, orthogonal contrasts, native grasses, dry matter

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de pastizales se encuentran fuertemente afectados por perturbaciones antrópicas y el cambio climático (Flores, 2016), reduciendo capacidad de retención de nutrientes y secuestro de carbono, e incrementando la emisión de óxido nítrico del suelo (Rattan *et al.*, 2003). La recuperación de pastizales es de interés en el contexto del cambio climático, teniendo a la

exclusión como una estrategia, pero esta demanda tiempo para recuperar pastizales saludables (Dormaar *et al.*, 1997).

Los pastizales saludables tienen un reciclaje de nutrientes en equilibrio dinámico. Esto significa que niveles de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) están en equilibrio dentro del suelo, vegetación, animal y clima (Rattan *et al.*, 2003). Los suelos altoandinos tienen propiedades físicoquímicas que lo hacen de-

ficientes en nitrógeno y fósforo, mientras las reservas de potasio son altas (Bryant *et al.*, 1989). Las reservas de nitrógeno y fósforo están en la materia orgánica, siendo liberadas a diferentes velocidades de acuerdo con las tasas de descomposición y transporte de nutrientes. La reserva de nitrógeno también puede ser la atmósfera, ya que es fijado al suelo por las leguminosas a través de bacterias y micorrizas, siempre que el fósforo esté disponible en el suelo (Pahuara y Zuñiga, 2001).

Entre el 75 y 90% de los nutrientes consumidos por los animales son reciclados a través de las heces y la orina, siendo solo pequeñas cantidades de nutrientes removidos del campo por el animal (McKenzie *et al.*, 2003), por lo que los pastizales naturales tienen bajas tasas de requerimiento en nutrientes. Sin embargo, macronutrientes como el potasio se necesita en grandes cantidades y está estrechamente relacionado con la nutrición del nitrógeno en gramíneas (Marschner, 2012). El ciclo del potasio en los pastizales ha recibido poca atención en la práctica y en la investigación en los últimos años, pero se debe tener en cuenta que sistemas equilibrados de nutrientes requieren la consideración de otros nutrientes distintos al nitrógeno (Kayser y Isselstein, 2005).

La productividad de los pastizales está limitada por los nutrientes disponibles del suelo. Si bien el nitrógeno es el determinante y clave para la producción primaria, este está asociado al fósforo (Doudill *et al.*, 1998). La disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes afectan a una gran cantidad de pastizales a nivel mundial, siendo el nitrógeno el elemento limitante en sitios con mayor altura sobre el nivel del mar, aunque hay que resaltar la importancia del potasio y micronutrientes, que son los menos estudiados, en la productividad de pastizales, y apuntan a variaciones importantes en la produc-

ción primaria neta (Fay *et al.*, 2015). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue comparar el efecto de N, P y K en la producción de biomasa aérea de dos gramíneas nativas altoandinas *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El experimento se estableció en el paraje de Mesapata de la Unidad de Producción Consac de la SAIS «Túpac Amaru» (con más de 200 000 hectáreas), ubicado en el distrito de Canchayllo, provincia de Jauja, departamento de Junín, Perú (Figura 1).

El lugar se encuentra a una altitud de 4186 msnm, en la zona de tundra alpina tropical muy húmeda. Mesapata es una pequeña meseta con paisaje circundante de colinas y montañas. El área experimental tiene una pendiente de 0 a 15°, la composición de rocas son dioritas, granodioritas y tonalitas, perteneciendo a unidades litológicas cenozoicas, stock del batolito costero y formaciones sedimentarias del cretácico.

El estudio se realizó en 2016 con una temperatura máxima de 17 °C entre enero y febrero, y mínima de -1 °C en los meses de junio y julio. La precipitación máxima fue 130 mm en febrero y la mínima de 5 mm en junio y julio.

Vegetación

Las especies predominantes fueron: *Festuca dolichophylla*, *Festuca humilior*, *Stipa brachiphylla*, *Calamagrostis rigescens*, *Calamagrostis vicunarum*, *Calamagrostis spicifera*, *Jarava ichu* y *Anaerostipa hanns-meyer*.

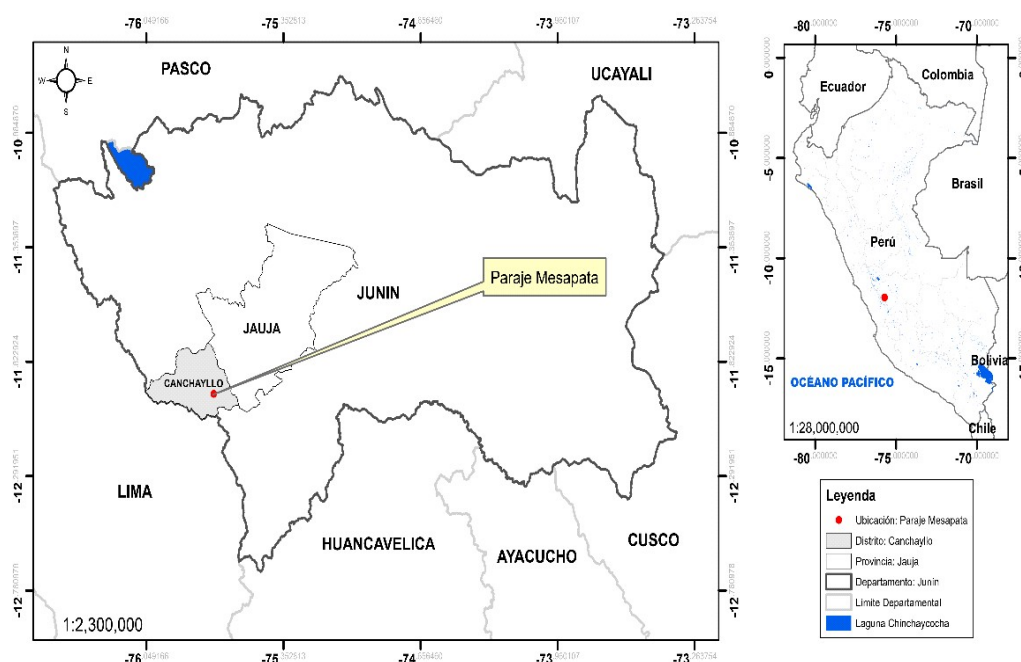


Figura 1. Mapa de ubicación del experimento

Instalación de esquejes

El lugar seleccionado era un pajonal de condición buena, cuya asociación predominante fue *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*. El lugar tiene una fisiografía de colina ondulada, con un paisaje circundante de montañas, valle glacial y depresiones. Antes de implementar la revegetación, se procedió a perturbar el sitio simulando labores culturales agrícolas (preparación de suelo conocido como roturado) y se eliminó todo material vegetal en un área de 2500 m².

Muestreo y Análisis del Suelo

Para el muestreo del suelo se realizaron tres calicatas (1x1.5x1.3 m) en diciembre de 2016 después del roturado, tomándose la densidad aparente por el método de cilindros. La resistencia mecánica se tomó con un penetrómetro cada 5 cm hasta 30 cm de

profundidad (Schoeneberger *et al.*, 2012), tomándose una alicuota (1 kg) como muestra de suelo, el cual fue enviado al Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, para su caracterización.

Semilla Vegetativa

Los esquejes utilizados en la revegetación (Cuadro 1) fueron extraídos de pastizales de condición excelente en diciembre de 2016, ya que la resiliencia de estos sitios a la perturbación de suelo expuesto es superior, por lo que no afecta su función ecológica. Se evaluó la condición (método Parker, 1954) y densidad de plantas de los sitios seleccionados para la obtención de esquejes, se identificaron las especies de *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*, siendo las matas elegidas aquellas de buena cobertura basal, verdes y con inflorescencias.

Cuadro 1. Características botánicas de las especies utilizadas en revegetación

	<i>Festuca dolichophylla</i>	<i>Festuca humilior</i>
Culmas (caña)	50-70 cm	12-35 cm, amarillenta
Hoja (lámina, ápice y lígula)	Convoluta, agudo, algo tubulado y ciliado (a veces la hoja bandera llega a la base de la panícula), 10-50 cm, generalmente rectas	Convoluta, agudo y ciliado, 10-35 cm, generalmente dobladas en la parte distal
Panícula	9 -16 cm con pedicelos grabescentes	4- 12 (19) cm
Glumas	Superior 3.8-5 mm	Superior 2.5-5 mm
	Inferior 3-3.5 (4) mm	Inferior 1.5-3 (3.5) mm
Lema	Superior 3.8-5 mm	Superior
	Inferior 6-7 cm	Inferior 6- 7 mm
Flósculo	4-6 (7)	Máximo 3

Fuente: Clayton *et al.* (2006)

Valores entre paréntesis () corresponden a valores máximos reportados

Se consideró un 20% de cobertura aérea máxima para la colección uniforme (evitando dejar parches de vegetación), tratando de obtener la mayor cobertura de raíz posible por esqueje (libre de inflorescencias y hojas secas). Luego se realizó un corte a 15 y 20 cm de la base de la raíz para *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* respectivamente. Las matas se separaron en esquejes de 5 cm de diámetro. Finalmente se cercó el área con malla ganadera para evitar el pastoreo por los dos años que duró el experimento.

Tratamientos

Se establecieron dos áreas de 1000 m² para cada una de las especies *F. dolichophylla* y *F. humilior*. Cada área se dividió en 25 unidades experimentales de 4x10 m con 5 repeticiones (hilera) y 5 tratamientos (columna). La siembra del esqueje

ocurrió al día siguiente de haber sido colectados y preparados los esquejes, siendo el distanciamiento entre esquejes de 1x1 m entre esquejes (1 esqueje/m²).

Los tratamientos fueron: testigo (T), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y nitrógeno-fósforo-potasio (NPK), con las siguientes cantidades: 0-0-0, 36.24-0-0, 0-4.27-0, 0-0-29.92 y 36.24-4.27-29.92 kg/ha, respectivamente. La fuente de fertilización fue granulada de lenta liberación: urea, fosfato triple y cloruro de potasio, cuyas leyes son 46-0-0, 18-46-0 y 0-0-60 de NPK, respectivamente.

Manejo y Muestreo

Las parcelas de *F. dolichophylla* y *F. humilior* fueron distribuidos de manera que cada tratamiento ocupe una fila y una columna una vez (Figura 2). Las mediciones se to-

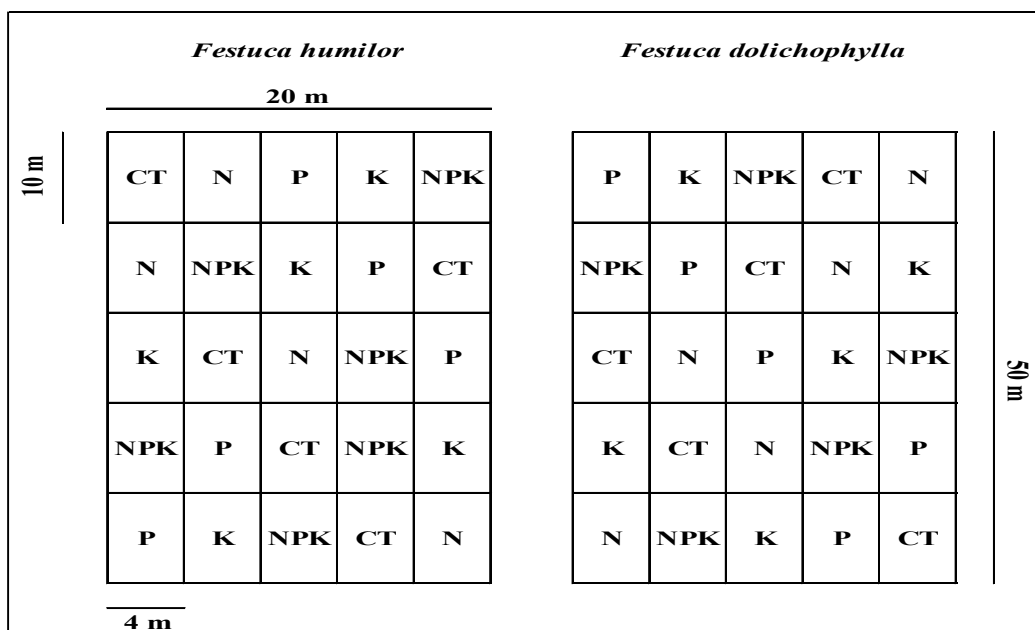


Figura 2. Plano de la distribución de los tratamientos testigo (T), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y nitrógeno-fósforo-potasio (NPK)

maron en mayo de 2017, aproximadamente a los 16 meses de la siembra de esquejes (1.5 años de crecimiento). Los esquejes se encontraron dentro de los dos surcos centrales, y se tomaron desde el tercer esqueje de cada surco para evitar el efecto borde. Se tomaron cinco matas de cada especie y se pesaron en una balanza digital (OHAUS®, Ranger 3000) de 3000 g de capacidad máxima y 0.1 g de precisión. Luego fueron secadas en un horno a 80 °C durante 24 horas y se determinó el porcentaje de biomasa seca, dividiendo la biomasa seca entre la biomasa fresca llevado al 100% (Weaver y Darland, 2006).

Análisis Estadístico

El modelo utilizado fue de bloques completamente al azar con submuestreo, teniendo como bloques a las repeticiones. Los factores fueron las especies *Festuca humilior* y *Festuca dolichophylla*, y las asignaciones de fertilizante control (CT), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y nitrógeno-fósforo-

potasio (NPK), con lo que se tuvieron 10 tratamientos. Se considera una parcela a cada especie con 25 subparcelas, donde se asignó el tratamiento de fertilizante. Las unidades observacionales fueron cinco matas por subparcela. Las variables respuesta fueron biomasa aérea fresca, biomasa aérea seca y porcentaje de materia seca.

Se utilizó el siguiente modelo: $Y_{ijk} = \mu + B_j + T_i + (BT)_{ij} + \phi(m)_{ijk} + \epsilon_{ijk}$, siendo $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ tratamientos; $j = 1, 2, 3, 4$ bloque; $k = 1, 2, 3, 4, 5$ matas; donde Y_{ijk} = variable respuesta; B_j = Bloque (fijo); T_i = Tratamiento (fijo); $(BT)_{ij}$ = Interacción Bloque x Tratamiento; $\phi(m)_{ijk}$ = Mata (aleatorio); ϵ_{ijk} = Residual.

Contrastes Ortogonales

Se hicieron nueve contrastes ortogonales de las comparaciones de *F. humilior* vs *F. dolichophylla*; control vs fertilizado; NPK vs N, P y K; N vs P y K; y P vs

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del suelo del área de estudio

Propiedades físicas		Propiedades químicas	
Textura	Franco arenoso	Materia orgánica	9.30%
Arena	63%	pH	5.3
Limo	29.30%	CE	0.2 ds/m
Arcilla	7.70%	CIC	34.7 meq/100 g
Densidad aparente	1.1 g/cm ³	Suma de cationes	17.2 meq/100 g
Porosidad	60.20%	Suma de bases	17.1 meq/100 g
Resistencia mecánica	2.38 kg/cm ²	PSB	49.30%

CE; conductividad eléctrica; CIC: Capacidad de intercambio catiónico; PSB: Porcentaje de saturación de bases

K para *F. humilior* y *F. dolichophylla*. Los promedios y desviaciones estándar se ajustaron utilizando *lsmeans* para cada comparación de los contrastes. Para los valores porcentuales se hizo una transformación arcoseno. En el análisis experimental se utilizó el software R Project for Statistical Computing v. 3.4 con las librerías *agricolae*, *nlme*, *effects* y *lsmeans*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Suelo

Las propiedades físicas y químicas del suelo del área del estudio se presentan en el Cuadro 2. La textura definió el suelo como franco arenoso. El pH 5.3 del suelo denotaba que era fuertemente ácido. La capacidad de campo fue $25.12 \pm 1.92\%$, típica de un suelo franco arenoso con alto contenido de materia orgánica, mientras que el punto de marchitez aproximado estimado fue de 14.50%.

Peso de Biomasa Aérea Fresca

La biomasa aérea fresca fue de 783.90 ± 110.70 y 662.90 ± 24.90 kg/ha en *F. dolichophylla* y *F. humilior* respectivamente (Figura 3). *F. dolichophylla* tuvo una mayor producción de biomasa aérea fresca. Los contrastes de N, P, K, y NPK con el control no presentaron diferencias significativas en *F. humilior* (Cuadro 3); mientras que en *F. dolichophylla* hubo diferencias en los contrastes, con un promedio de biomasa aérea fresca de 828.60 ± 54.80 y 604.90 ± 61.90 kg/ha en las parcelas con fertilización y sin fertilización, respectivamente (Figura 4). La fertilización individual de N, P y K no tuvo diferencias significativas en contraste con la adición completa de NPK.

Alhamad *et al.* (2012), mencionan el impacto de la fertilización sobre áreas no fertilizadas en la productividad y diversidad en pastizales áridos, demostrando un incremento de biomasa aérea de 37.40%; mientras nosotros obtuvimos un 36.98% en *F.*

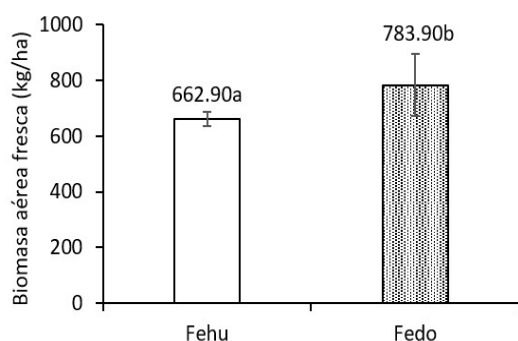


Figura 3. Contraste de comparación de biomasa aérea fresca de *Festuca humilior* (Fehu) y *Festuca dolichophylla* (Fedo)

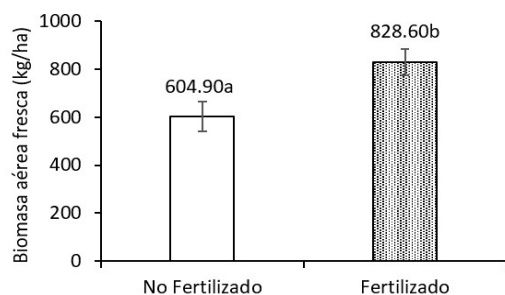


Figura 4. Contraste de comparación de biomasa aérea fresca en parcelas de *Festuca dolichophylla* fertilizadas y no fertilizadas con N, P y K

dolichophylla con diferencias estadísticas significativa (Figura 3), esta especie probablemente muestra mayor requerimiento nutricional en comparación a *F. humilior* donde no se mostraron diferencias estadísticas.

Balogianni *et al.* (2014) fertilizaron con nitrógeno parcelas de pastizales a razón de 27 kg/ha de urea (46-0-0) anual durante 5 años, teniendo como resultados promedios de biomasa aérea de 4880 ± 2870 kg/ha; sin embargo, los resultados del presente trabajo mostraron promedios por debajo en ambas especies evaluadas.

Peso de Biomasa Aérea Seca

El peso biomasa aérea seca promedio fue 477.6 ± 62.9 y 410.2 ± 15.4 kg/ha en *F. dolichophylla* y *F. humilior* respectivamente (Figura 5), encontrándose diferencias estadísticas entre promedios de ambas especies; siendo, *F. dolichophylla* el que tiene mayor producción de biomasa total seca luego de 1.5 años de crecimiento. *F. humilior* no presentó diferencias significativas en biomasa aérea seca cuando fue sometida a fertilización con N, P, K y NPK (Cuadro 3). Mientras tanto, en *F. dolichophylla* el promedio de biomasa seca en las parcelas fertilizadas (502.7 ± 32.7 kg/ha) fue significativamente diferente de las parcelas no fertilizadas (373.7 ± 37.4 kg/ha) ($p < 0.05$; Figura 6).

Según Aydin y Uzun (2005), los pastizales fertilizados con 180 kg N y 52 kg P ha^{-1} obtuvieron un incremento de 228% de biomasa aérea seca, mientras que, en el presente estudio en parcelas fertilizadas con N, P, K y NPK en *F. dolichophylla* se encontró un incremento significativo de biomasa aérea seca 34.5% a favor de las parcelas fertilizadas (Figura 6). La diferencia estriba en que en este estudio se evaluó una especie perenne, mientras que en el estudio anterior se evaluó una comunidad con especies anuales que posiblemente sean las que incrementan la cantidad de biomasa aérea seca.

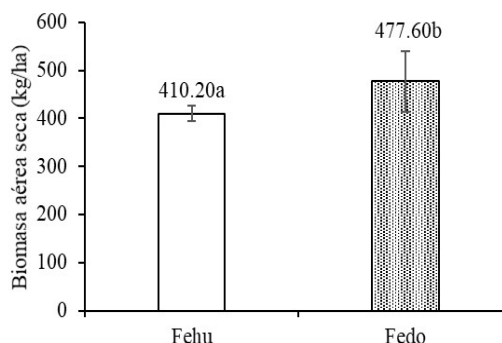


Figura 5. Contraste de comparación de biomasa seca de *Festuca humilior* (Fehu) y *Festuca dolichophylla* (Fedo)

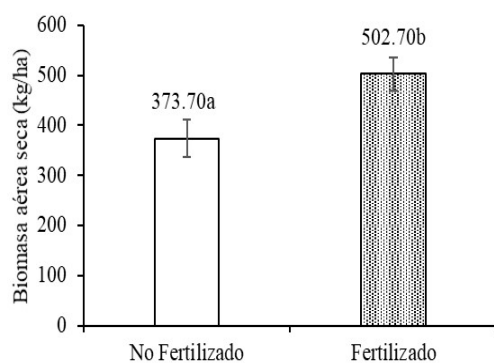


Figura 6. Contraste de comparación de biomasa aérea seca en parcelas fertilizada y no fertilizadas con N, P y K en *Festuca dolichophylla*

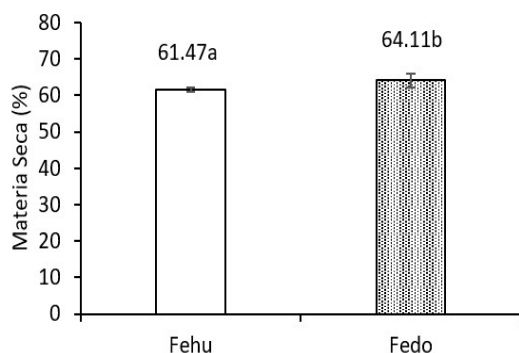


Figura 7. Contraste de comparación de porcentaje de materia seca de *Festuca humilior* (Fehu) y *Festuca dolichophylla* (Fedo)

Colabelli *et al.* (2011) estudiaron el comportamiento del nitrógeno sobre el crecimiento de pastizales, y tuvieron como resultado la acumulación potencial de biomasa en estiaje de 10 t MS/ha, llegando a casi triplicar los valores con la fertilización con fósforo. Asimismo, Elliott y Abbott (2003) mencionan que la fertilización, especialmente con N y P, puede aumentar 2-3 veces la producción de MS de los pastizales, dependiendo de la precipitación anual y la humedad en la región. En el presente estudio se obtuvo un incremento

menor (50%) de la biomasa aérea seca, debido principalmente a la estacionalidad de la precipitación y las especies evaluadas.

Porcentaje de Materia Seca

El porcentaje de materia seca de *F. dolichophylla* ($64.11 \pm 1.82\%$) fue significativamente mayor que en *F. humilior* ($61.47 \pm 0.56\%$) ($p < 0.05$, Figura 7), luego de 1.5 años de crecimiento.

Wayne y Elder (2007) mencionan que pastizales que han sido fertilizados producen mayor cantidad de materia seca por área por año. Türk *et al.* (2007) encontraron mayores rendimientos de materia seca en tratamientos de $N_{150}K_0$ (9.93 g/kg) y $N_{150}K_{50}$ (10.01 g/kg), siendo las dosis de potasio las que aumentan la proteína cruda y la concentración de potasio, pero disminuyen la concentración de calcio y de magnesio. Los resultados del presente estudio no evidenciaron diferencias estadísticas en el contenido de materia seca en las parcelas fertilizadas de *F. dolichophylla* y *F. humilior* (Cuadro 3).

Balabanli *et al.* (2010) mencionan también un aumento del contenido de proteína en áreas fertilizadas con nitrógeno, pero el contenido de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina detergente ácida (LDA) disminuyen, indicando que los pastizales aumentaron su valor nutritivo, pero disminuyeron su contenido de materia seca. Claassen y Marler (2004) indican que gramíneas nativas anuales prosperan mejor en altos niveles de nitrógeno dominando a las perennes, mientras que la gramínea perenne prospera mejor en niveles medios de nitrógeno (50-100 mM) igualando o superando a las anuales; siendo el comportamiento similar aun cuando se establecen individualmente ambas especies. Las especies evaluadas fueron gramíneas nativas perennes con niveles medios de nitrógeno, por lo que prosperaron adecuadamente, no teniendo los fertilizantes efecto significativo sobre el porcentaje de materia seca.

Cuadro 3. Promedios de biomasa fresca, seca y materia seca en contrastes ($p < 0.05$) de *Festuca humilior* (fehu) y *Festuca dolichophylla* (fedo) fertilizados con nitrógeno, fósforo y potasio

Contrastes	Biomasa aérea fresca (kg/ha)	Biomasa aérea seca (kg/ha)	Materia seca (%)
C1 fehu vs fedo	662.90 ± 24.90 ^a 783.90 ± 10.70 ^b	410.20 ± 15.40 ^a 477.60 ± 62.90 ^b	61.47 ± 0.56 ^a 64.11 ± 1.82 ^b
C2 Testigo vs fertilizados (fehu)	704.40 ± 61.90 ^a 652.50 ± 10.30 ^a	436.60 ± 37.40 ^a 403.60 ± 5.00 ^a	61.43 ± 1.50 ^a 61.48 ± 0.64 ^a
C3 NPK vs N, P y K (fehu)	643.60 ± 61.90 ^a 655.50 ± 10.30 ^a	400.00 ± 37.40 ^a 404.60 ± 5.50 ^a	60.55 ± 1.50 ^a 61.79 ± 0.20 ^a
C4 N vs P y K (fehu)	655.60 ± 61.80 ^a 655.50 ± 14.50 ^a	404.80 ± 37.40 ^a 404.60 ± 7.80 ^a	61.71 ± 1.50 ^a 61.83 ± 0.26 ^a
C5 P vs K (fehu)	665.80 ± 61.90 ^a 645.20 ± 61.90 ^a	410.10 ± 37.40 ^a 399.10 ± 37.40 ^a	62.02 ± 1.50 ^a 61.44 ± 1.50 ^a
C6 Testigo vs fertilizados (fedo)	604.90 ± 61.90 ^a 828.60 ± 54.80 ^b	373.70 ± 37.40 ^a 502.70 ± 32.70 ^b	61.56 ± 1.50 ^a 64.75 ± 1.31 ^a
C7 NPK vs N, P y K (fedo)	849.30 ± 61.90 ^a 821.70 ± 64.90 ^a	512.20 ± 37.40 ^a 499.60 ± 39.30 ^a	61.56 ± 1.50 ^a 64.36 ± 1.30 ^a
C8 N vs P y K (fedo)	885.30 ± 61.90 ^a 790.00 ± 48.60 ^a	534.80 ± 37.40 ^a 481.90 ± 35.00 ^a	65.34 ± 1.50 ^a 63.87 ± 1.38 ^a
C9 P vs K (fedo)	755.60 ± 61.80 ^a 824.30 ± 61.90 ^a	457.20 ± 37.40 ^a 506.70 ± 37.40 ^a	64.84 ± 1.50 ^a 62.89 ± 1.50 ^a

CONCLUSIONES

- Las especies de porte alto como *Festuca dolichophylla* evidencian un estímulo a la fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio, mejorando la producción de biomasa ante la disponibilidad inmediata de algún macronutriente.
- El porcentaje de materia seca en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* no evidenció una mayor retención de nutrientes en la mata, aun cuando las mismas se fertilizaron con nitrógeno, fósforo y potasio.

- El elemento limitante no pudo ser identificado para *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*, probablemente debido a respuestas compensatorias al déficit de nutricional.

LITERATURA CITADA

- Aydin I, Uzun F. 2005. Nitrogen and phosphorus fertilization of rangelands affects yield, forage quality and the botanical composition. Eur J Agron 23: 8-14. doi: 10.1016/j.eja.2004.08.001

2. **Alhamad MN, Alrababah MA, Gharaibeh MA. 2012.** Impact of burning and fertilization on dry Mediterranean grassland productivity and diversity. *Acta Oecol* 40: 19-26. doi: 10.1016/j.actao.2012.02.005
3. **Balabanli C, Albayrak S, Yüksel O. 2010.** Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on the quality and yield of native Rangeland. *Turk J Field Crops* 15: 164-168.
4. **Balogianni VG, Wilson SD, Vaness BM, Macdougall AS, Pinno BD. 2014.** Different root and shoot responses to mowing and fertility in native and invaded grassland. *Rangel Ecol Manag* 67: 39-45. doi: 10.2111/REM-D-13-00080.1
5. **Bryant FC, Florez A, Pfister J. 1989.** Sheep and alpaca productivity on High Andean rangelands in Peru. *J Anim Sci* 67: 3087-3095. doi: 10.2527/jas1989-67113087x
6. **Claassen V, Marler M. 2004.** Annual and perennial grass growth on nitrogen depleted decomposed granite. *Restor Ecol* 6: 175-180. doi: 10.1111/j.1526-100X.1998.00629.x
7. **Clayton WD, Vorontsova MS, Harman KT, Williamson H. 2006.** Grass base. Disponible World Grass Flora. [Internet]. Available in: <http://www.kew.org/data/grasses-db.html>
8. **Colabelli MR, Agnusdei M, Durand J. 2011.** Grupos funcionales de plantas, producción de forraje y eficiencia de uso de radiación de pastizales naturales en condiciones potenciales y limitadas de agua y nitrógeno. *Rev Invest Agropec* 37: 62-74.
9. **Dormaer JF, Adams BW, Willms WD. 1997.** Impacts of rotational vegetation grazing on mixed prairie soils and vegetation. *J Range Manag* 50: 647-651.
10. **Doudill AJ, Heathwaite AL, Thomas DS. 1998.** Soil water movement and nutrient cycling in semi-arid rangeland: vegetation change and system resilience. *Hydrol Process* 12: 443-459. doi: 10.1002/(SICI)1099-1085(19980315)12:3<443::AID-HYP582>3.0.CO;2-N
11. **Elliott DE, Abbott RJ. 2003.** Nitrogen fertiliser use on rain-fed pasture in the Mt Lofty Ranges, South Australia. 2. Responses of perennial grasses, tame ryegrass, and sod-sown oats to nitrogen fertiliser and cutting frequency. *Aust J Exp Agric* 43: 579-595. doi: 10.1071/EA01132
12. **Fay PA, Prober SM, Harpole WS, Knops JMH, Bakker JD, Borer ET, Yang LH. 2015.** Grassland productivity limited by multiple nutrients. *Nat Plants* 1: 15080. doi: 10.1038/nplants.2015.80
13. **Flores ER. 2016.** Cambio climático: pastizales altoandinos y seguridad alimentaria. *Rev Glaciares y Ecosistemas de Montaña* 1: 73-80.
14. **Kayser M, Isselstein J. 2005.** Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. *Grass Forage Sci* 60: 213-224. doi: 10.1111/j.1365-2494.2005-00478.x
15. **Marschner P. 2012.** Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. London, UK: Academic Press. 672 p.
16. **McKenzie RH, Dormaar JF, Adams B, Wilms W. 2003.** Manure application and nutrient balance on rangeland. [Internet]. Disponible en: <https://open.alberta.ca/dataset/7ccb943e-9690-4095-a4f7-8690d1906e89/resource/57fde24f-f3fa-427b-b741-34c062-cac069/download/2003-538-1.pdf>
17. **Pahuara D, Zuñiga D. 2001.** Efecto del fósforo sobre la población microbiana en suelos con pasturas en la zona altoandina de Junin. *Ecol Aplicada* 1: 57-64. doi: 10.21704/rea.v1i1-2.230
18. **Parker KW. 1954.** Application of ecology in the determination in range condition and trend. *J Range Manag* 7: 14-23.
19. **Rattan L, Sobecki TM, Iivari T, Kimble JM. 2003.** Soil degradation in the United States: extents, severity and trends. Lewis Publishers. 224 p.
20. **Schoeneberger PJ, Wysocki DA, Benham EC. 2012.** Field book for describing and sampling soils. v. 3.0. Lincoln, NE: Natural Resources Conservation Service. [Internet]. Available in:

- https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs-142p2_054184
21. **Türk M, Celik N, Bayram G, Budakli E. 2007.** Effects of nitrogen and potassium fertilization on yield and nutritional quality of rangeland. *Asian J Chem* 19: 2341-2348.
22. **Elder WC. 2007.** Effect of fertilization on native grass pastures in Oklahoma. *J Range Manag* 13: 34.
23. **Weaver JE, Darland RW. 2006.** A method of measuring vigor of range grasses. *Ecology* 28: 146-162. doi:10.2307/1930948